

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Patent Application of:  
**SANCHES ET AL.**

Serial No. **Not Yet Assigned**

Filing Date: **Herewith**

For: **DIGITAL SIGNAL PROCESSOR  
WITH PARALLEL ARCHITECTURE**

I HEREBY CERTIFY THIS PAPER OR FEE IS BEING  
DEPOSITED WITH THE U.S. POSTAL SERVICE  
"EXPRESS MAIL POST OFFICE TO ADDRESSEE"  
SERVICE UNDER 37 CFR 1.10 ON THE DATE  
INDICATED BELOW AND IS ADDRESSED TO:  
BOX PATENT APPLICATIONS, ASSISTANT  
COMMISSIONER FOR PATENTS, WASHINGTON,  
D.C. 20231.

EXPRESS MAIL NO: EL747059303US

DATE OF DEPOSIT: July 26, 2001

NAME: Alex Greene

SIGNATURE: Alex Greene

11011 U.S. PRO  
09/915761



**TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Director, U.S. Patent and Trademark Office  
Washington, D.C. 20231

Sir:

Transmitted herewith is a certified copy of the  
priority French Application No. 0009882.

Respectfully submitted,

*Michael W. Taylor*  
MICHAEL W. TAYLOR  
Reg. No. 43,182  
Allen, Dyer, Doppelt, Milbrath  
& Gilchrist, P.A.  
255 S. Orange Avenue, Suite 1401  
Post Office Box 3791  
Orlando, Florida 32802  
Telephone: 407/841-2330  
Fax: 407/841-2343  
Attorney for Applicants

This Page Blank (uspto)

# BREVET D'INVENTION

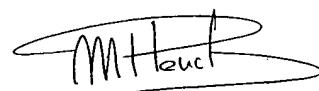
CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

**COPIE OFFICIELLE      CERTIFIED COPY OF  
                                  PRIORITY DOCUMENT**

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 21 FEV. 2001

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets



Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIETE  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersbourg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04  
Télécopie : 01 42 93 59 30  
<http://www.inpi.fr>

*This Page Blank (uspto)*



INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

**cerfa**  
N° 11354\*01

### REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W /26089

REMISE DES PIÈCES		Réservé à l'INPI	
DATE	27 JUIL 2000		
LEU	13 INPI MARSEILLE		
N° D'ENREGISTREMENT	NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		
ATTRIBUÉ PAR L'INPI		0009882	
DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI		27 JUIL. 2000	
Vos références pour ce dossier ( facultatif ) 100093 FR			
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale ou demande de certificat d'utilité initiale		N°	Date / /
		N°	Date / /
Transformation d'une demande de brevet européen Demande de brevet initiale		N°	Date / /
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
PROCESSEUR DSP À ARCHITECTURE PARALLELE			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation Date / / /	N°
		Pays ou organisation Date / / /	N°
		Pays ou organisation Date / / /	N°
<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé « Suite »			
5 DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé « Suite »	
Nom ou dénomination sociale		STMICROELECTRONICS	
Prénoms			
Forme juridique		SOCIETE ANONYME	
N° SIREN		3 . 4 . 1 . 4 . 5 . 9 . 3 . 8 . 6	
Code APE-NAF		3 . 2 . 1 . B	
Adresse	Rue	7, Avenue Galliéni	
	Code postal et ville	94250	GENTILLY CEDEX
Pays		FRANCE	
Nationalité		FRANCE	
N° de téléphone ( facultatif )			
N° de télécopie ( facultatif )			
Adresse électronique ( facultatif )			

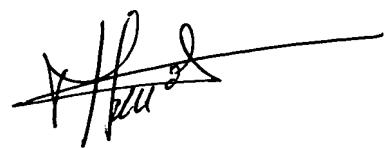
**BREVET D'INVENTION  
CERTIFICAT D'UTILITÉ**

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

Réervé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES	
DATE	27 JUIL 2000
LIEU	13 INPI MARSEILLE
N° D'ENREGISTREMENT	
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI	0009882

DB 54G W /260899

<b>Vos références pour ce dossier : (facultatif)</b>		100093 FR
<b>6 MANDATAIRE</b>		
Nom		MARCHAND
Prénom		André
Cabinet ou Société		OMNIPAT
N °de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		
Adresse	Rue	24 Place des Martyrs de la Résistance
	Code postal et ville	13100 AIX EN PROVENCE
N° de téléphone (facultatif)		04.42.99.06.60.
N° de télécopie (facultatif)		04.42.99.06.69.
Adresse électronique (facultatif)		
<b>7 INVENTEUR (S)</b>		
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non <b>Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée</b>
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Paiement échelonné de la redevance		<b>Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques</b> <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		<b>Uniquement pour les personnes physiques</b> <input type="checkbox"/> Requise pour la première fois pour cette invention ( <i>joindre un avis de non-imposition</i> ) <input type="checkbox"/> Requise antérieurement à ce dépôt ( <i>joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence</i> )
<b>Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes</b>		
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)</b>		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b>
MARCHAND André - CPI N° 95 0303 OMNIPAT		 

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

**BREVET D'INVENTION**

**CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

**DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.../3..**

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W /260899

Vos références pour ce dossier <i>( facultatif )</i>	100093 FR
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL	0009882
<b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum) PROCESSEUR DSP A ARCHITECTURE PARALLELE	
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b>	
MARCHAND André OMNIPAT 24, Place des Martyrs de la Résistance 13100 AIX EN PROVENCE	
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b> (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).	
Nom SANCHES	
Prénoms José	
Adresse	Rue C/O OMNIPAT 24 Place des Martyrs de la Résistance
	Code postal et ville 13100 AIX EN PROVENCE
Société d'appartenance <i>( facultatif )</i>	
Nom CORNERO	
Prénoms Marco	
Adresse	Rue C/O OMNIPAT 24 Place des Martyrs de la Résistance
	Code postal et ville 13100 AIX EN PROVENCE
Société d'appartenance <i>( facultatif )</i>	
Nom SANTANA	
Prénoms Miguel	
Adresse	Rue C/O OMNIPAT 24 Place des Martyrs de la Résistance
	Code postal et ville 13100 AIX EN PROVENCE
Société d'appartenance <i>( facultatif )</i>	
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b> <b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b> <b>OU DU MANDATAIRE</b> <b>(Nom et qualité du signataire)</b> Aix en Provence, le 2 février 2001 MARCHAND André - CPI N° 95 0303 OMNIPAT	

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg.  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

**BREVET D'INVENTION**

**CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

**DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 2.. / 3..**

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W /260899

Vos références pour ce dossier <i>( facultatif )</i>	100093 FR
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL	0009882
<b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum) PROCESSEUR DSP A ARCHITECTURE PARALLELE	
LE(S) DEMANDEUR(S) :	
MARCHAND André OMNIPAT 24, Place des Martyrs de la Résistance 13100 AIX EN PROVENCE	
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b> (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).	
Nom GUILLAUME Prénoms Philippe Adresse Rue C/O OMNIPAT 24 Place des Martyrs de la Résistance Code postal et ville 13100 AIX EN PROVENCE	
Société d'appartenance <i>( facultatif )</i>	
Nom DAVEAU Prénoms Jean-Marc Adresse Rue C/O OMNIPAT 24 Place des Martyrs de la Résistance Code postal et ville 13100 AIX EN PROVENCE	
Société d'appartenance <i>( facultatif )</i>	
Nom LEPLEY Prénoms Thierry Adresse Rue C/O OMNIPAT 24 Place des Martyrs de la Résistance Code postal et ville 13100 AIX EN PROVENCE	
Société d'appartenance <i>( facultatif )</i>	
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b> <b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b> <b>OU DU MANDATAIRE</b> <i>(Nom et qualité du signataire)</i> Aix en Provence, le 2 février 2001 MARCHAND André - CPI N° 95 0303 OMNIPAT	

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

**BREVET D'INVENTION**

**CERTIFICAT D'UTILITÉ**

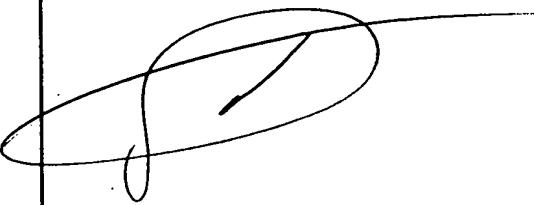
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 3.. / 3..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W /260899

Vos références pour ce dossier <i>( facultatif )</i>	100093 FR	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL	0009882	
<b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum) PROCESSEUR DSP A ARCHITECTURE PARALLELE		
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b>		
<p>MARCHAND André OMNIPAT 24, Place des Martyrs de la Résistance 13100 AIX EN PROVENCE</p>		
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b> (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).		
Nom		PAULIN.
Prénoms		Pierre
Adresse	Rue	C/O OMNIPAT 24 Place des Martyrs de la Résistance
	Code postal et ville	13100 AIX EN PROVENCE
<b>Société d'appartenance</b> ( <i> facultatif </i> )		
Nom		HARRAND
Prénoms		Michel
Adresse	Rue	C/O OMNIPAT 24 Place des Martyrs de la Résistance
	Code postal et ville	13100 AIX EN PROVENCE
<b>Société d'appartenance</b> ( <i> facultatif </i> )		
Nom		
Prénoms		
Adresse	Rue	C/O OMNIPAT 24 Place des Martyrs de la Résistance
	Code postal et ville	13100 AIX EN PROVENCE
<b>Société d'appartenance</b> ( <i> facultatif </i> )		
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b> <b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b> <b>OU DU MANDATAIRE</b> <b>(Nom et qualité du signataire)</b> Aix en Provence, le 2 février 2001 MARCHAND André - CPI N° 95 0303 OMNIPAT		

**This Page Blank (uspto)**

## PROCESSEUR DSP A ARCHITECTURE PARALLELE

La présente invention concerne les processeurs de traitement du signal numérique, ou processeur DSP ("Digital Signal Processors").

La présente invention concerne plus particulièrement les processeurs DSP à architecture parallèle, ou processeurs VLIW ("Very Large Instruction Word").

Comme cela est bien connu de l'homme de l'art, les processeurs de type VLIW sont des processeurs hérités des processeurs RISC qui se distinguent des processeurs DSP conventionnels par le fait qu'ils comprennent plusieurs unités d'exécution agencées en parallèle. Chaque unité d'exécution est l'équivalent d'un cœur de processeur RISC (Reduced Instruction Set Computer) et exécute des codes instruction de format réduit, généralement de 16 bits, en exploitant les ressources offertes par une banque de registres. Chaque unité d'exécution pouvant exécuter un code instruction simultanément aux autres unités d'exécution, les processeurs VLIW sont donc capables d'exécuter simultanément une instruction large comprenant plusieurs codes "équivalents" RISC en parallèle.

Pour fixer les idées, la figure 1 représente schématiquement la structure classique d'un processeur de type VLIW, dont les éléments essentiels sont représentés sous forme de blocs. Le processeur comprend une mémoire programme PMEM, une mémoire de données, un registre d'instructions IR agencé à la sortie de la mémoire PMEM, un décodeur d'instructions IDEC agencé à la sortie du registre IR, une banque de registres RBANK, prévue notamment pour l'exécution de codes instruction de type RISC, des unités d'exécution EU0 à EU3, ainsi qu'un circuit BMC formant l'interface

entre les sorties des unités d'exécution UE1-EU3 et les entrées/sorties de la mémoire de données DMEM. Les unités d'exécution, ici quatre unités EU0, EU1, EU2, EU3, sont agencées en parallèle pour assurer le traitement simultané de quatre codes instruction lus simultanément dans la mémoire PMEM, formant ensemble une instruction large. La nature des unités d'exécution peut varier en fonction de l'application à laquelle le processeur est destiné. Les unités d'exécution comprennent par exemple une unité ALU (unité arithmétique et logique), une unité MAC (multiplication/adition), une unité CU (unité de contrôle, gérant le compteur ordinal PC et les branchements) et une unité CO-PRO (coprocesseur) pour effectuer certains calculs spécifiques à l'application visée.

Un tel processeur est ainsi capable d'assurer l'exécution d'instructions larges constituées ici au maximum par quatre codes. A chaque nouveau cycle d'horloge H, le compteur ordinal PC ("Program Counter") du processeur est augmenté d'un incrément  $n$  qui est égal à 1, sauf en cas de saut ou de branchement, et les registres d'instructions IR0-IR3 reçoivent simultanément en parallèle quatre nouveaux codes destinés à être exécutés par les unités EU0-EU3.

L'architecture d'un tel processeur 10 se distingue ainsi d'un processeur RISC conventionnel par son parallélisme, qui se retrouve dans tous les étages de traitement des instructions. Toutefois, les possibilités offertes par ce parallélisme sont rarement exploitées au maximum et les programmes compilés stockés dans la mémoire programme PMEM comprennent généralement un nombre élevée de codes de non-opération, ou codes "NOP" ("No Operation"). En effet, la transformation d'un programme écrit en langage de haut niveau, par exemple en langage C/C++, en une suite de codes de type RISC regroupés en paquets est effectuée de façon automatique par un programme de compilation qui connaît la structure du

processeur et essaie de former des paquets ayant la plus grande taille possible (comprenant quatre codes au maximum dans l'exemple de processeur décrit) afin d'exploiter au maximum le parallélisme du processeur.

5 Cette optimisation est faite en tenant compte des conflits entre les codes, de la disponibilité des unités d'exécution et des dépendances de données lors de l'exécution pipeline des codes. Ainsi, par exemple, deux codes destinés à être exécutés par la même unité

10 d'exécution ne peuvent être parallélisés dans le même paquet. Également, un code utilisant une opérande qui est le résultat d'une opération visée par un autre code ne peut être exécuté tant que le code dont il dépend n'est pas lui-même exécuté.

15 A titre d'exemple, considérons la séquence de programme suivante :

/p c0	/p c1	p c2	/p c3	p c4	p c5	p c6	/p c7	p c8	p c9
-------	-------	------	-------	------	------	------	-------	------	------

qui comprend des codes instruction c0 à c9 comportant chacun un bit de parallélisme /p ou p. Les codes instruction, appelés "syllabes" dans le langage de l'homme de l'art, sont regroupés en "paquets" ("bundle") pour former des instructions larges. La séparation des instructions (paquets) au sein d'un programme est effectuée au moyen des bits de parallélisme "p" affectés à chacun des codes. Les deux valeurs possibles "/p" ou "p" d'un bit de parallélisme, par exemple 0 et 1, permettent de savoir si un code appartient ou non à une nouvelle instruction. Plus, particulièrement, un code précédé d'un bit de parallélisme "p" (par exemple 1) appartient à la même instruction que le code précédent, tandis qu'un code précédé d'un bit de parallélisme "/p" (par exemple 0) appartient par convention à un nouveau paquet.

Dans la séquence de programme mentionnée ci-dessus, les bits de parallélisme permettent ainsi de distinguer quatre instructions larges INST1 à INST4 :

```

INST1 = c0
5 INST2 = c1 c2
INST3 = c3 c4 c5 c6
INST4 = c7 c8 c9

```

Pour pouvoir être exécutées par le processeur 10, ces instructions INST1 à INST4 sont enregistrées dans la 10 mémoire programme PMEM du processeur comme représenté en figure 1 et décrit par le tableau 1 ci-après :

Tableau 1

/p c0	NOP	NOP	NOP
/p c1	NOP	NOP	NOP
/p c3	p c4	p c5	p c6
/p c7	p c8	p c9	NOP

En conséquence, les compilateurs pour processeurs VLIW classiques génèrent un grand nombre de codes de non-opération qui ont pour but de maintenir certaines unités d'exécution inactives pendant que d'autres exécutent des codes. Il en résulte un encombrement inutile de la mémoire programme, qui peut représenter en pratique entre 20% et 70% de l'espace mémoire selon l'efficacité du compilateur et l'adéquation entre le programme à compiler et les ressources offertes par le processeur. Cet encombrement de l'espace mémoire par des codes NOP, qui est considérable au regard des codes instruction réellement nécessaires à l'exécution des programmes, augmente la surface de la mémoire PMEM pour une application donnée, donc entraîne une baisse de performance (mémoire plus lente avec la taille qui augmente), un surcroît de consommation (lignes de mots et lignes de bits plus longues dans le plan mémoire) et de coût (surface de silicium).

La présente invention vise à pallier cet inconvénient.

Plus particulièrement, la présente invention vise un processeur de type VLIW qui puisse recevoir dans sa mémoire programme des paquets de codes ne comportant pas de codes de non-opération.

Cet objectif est atteint par la prévision d'un processeur de traitement du signal prévu pour exécuter des instructions de taille variable pouvant comprendre jusqu'à N codes instruction élémentaires, le processeur comprenant une mémoire programme comprenant I bancs mémoire en parallèle adressables individuellement, I étant au moins égal à N, dans lesquels les codes d'un programme sont enregistrés de façon entrelacée à raison d'un code par banc et par adresse appliquée au banc, des moyens de lecture de la mémoire programme agencés pour lire un code dans chacun des I bancs mémoire au cours d'un cycle de lecture d'une instruction, un cycle de lecture d'une instruction dans la mémoire programme comprenant la lecture d'une suite de codes comprenant le ou les codes de l'instruction à lire et pouvant également comprendre, quand le nombre de codes de l'instruction lue est inférieur à I, des codes appartenant à une instruction suivante.

Selon un mode de réalisation, les moyens de lecture comprennent des moyens pour appliquer aux bancs mémoire des adresses individuelles générées à partir d'une valeur collective de compteur ordinal, qui est incrémentée, avant le commencement d'un cycle de lecture d'une instruction, d'une valeur égale au nombre de codes que comprend l'instruction précédente.

Selon un mode de réalisation, les moyens pour appliquer des adresses sont agencés pour appliquer à chacun des bancs mémoire une adresse de lecture individuelle égale à P0 ou P0+1, P0 étant le quotient de la division par I de la valeur du compteur ordinal.

Selon un mode de réalisation, les moyens pour appliquer des adresses sont agencés pour appliquer à un banc mémoire de rang  $i$  une adresse égale à  $P_0$  quand  $i$  est strictement supérieur à  $R$ , ou appliquer à un banc mémoire de rang  $i$  une adresse égale à  $P_0+1$  quand  $i$  est inférieur ou égal à  $R$ , étant le reste de la division par  $I$  de la valeur du compteur ordinal.

Selon un mode de réalisation, les moyens de lecture comprennent des moyens pour réorganiser les codes de la suite de codes lue dans la mémoire programme, conformément à l'algorithme suivant :  $[c'(j) = c(i)]$ , avec  $i = (j+R') \text{modulo } I$ , dans lequel "i" et "j" désignent les rangs des codes avant et après réorganisation,  $c(i)$  désigne des codes de rang  $i$  dans leur agencement après lecture dans la mémoire,  $c'(j)$  désigne des codes de rang  $j$  après réorganisation,  $R'$  étant le reste de la division par  $I$  de la valeur que présentait le compteur ordinal au cours du cycle d'horloge précédent.

Selon un mode de réalisation, les moyens pour réorganiser sont agencés pour appliquer aux codes de la suite de codes lue dans la mémoire programme une permutation circulaire comprenant un nombre de permutations circulaires élémentaires égal à  $R'$  ou à  $[I-R']$  selon le sens dans lequel est réalisée la permutation circulaire.

Selon un mode de réalisation, les permutations circulaires sont effectuées par un barillet à décalage recevant sur une entrée de commande le paramètre  $R'$ .

Avantageusement, les moyens de lecture comprennent des moyens pour filtrer les codes n'appartenant pas à l'instruction à lire, au moyen de bits de parallélisme accompagnant les codes.

Selon un mode de réalisation, les codes filtrés sont remplacés par des codes de non-opération.

Selon un mode de réalisation, les moyens de filtrage de codes sont agencés pour exécuter l'algorithme suivant : [Pour  $j = 0$ ,  $\text{val}(j=0) = "v"$ ,  $s(j=0) = c'(j=0)$  ;

Pour  $j$  allant de 1 à  $I$ ,  $\text{val}(j) = "v"$  si  $\text{val}(j-1) = "v"$  et si bit de parallélisme de  $c'(j) = "p"$ , sinon  $\text{val}(j-1) = "/v"$  ;  $s(j) = c'(j)$  si  $\text{val}(j) = "v"$  ;  
5  $s(j) = \text{NOP}$  si  $\text{val}(j) = "/v"$ ], dans lequel  $\text{val}(j)$  est un terme de validation associé à chaque code  $c'(j)$  de rang  $j$ , pouvant présenter deux valeurs " $v$ " et " $/v$ ",  $s(j)$  désigne des sorties de rang  $j$  des moyens de filtrage, correspondant à des entrées de même rang recevant un code  $c'(j)$ , " $\text{NOP}$ " est un code de non-opération.

10 Selon un mode de réalisation, les codes non filtrés sont envoyés à des unités d'exécution de type RISC agencées en parallèle.

La présente invention concerne également un procédé de lecture d'instructions de taille variable pouvant comprendre jusqu'à  $N$  codes instruction élémentaires, applicable à un processeur de traitement du signal, comprenant les étapes consistant à prévoir une mémoire programme comprenant  $I$  bancs mémoire en parallèle adressables individuellement,  $I$  étant au moins égal à  $N$ , 15 enregistrer les codes d'un programme dans la mémoire programme de façon entrelacée, à raison d'un code par banc et par adresse appliquée au banc, et au cours d'un cycle de lecture d'une instruction, lire dans les  $I$  bancs mémoire une suite de codes comprenant le ou les codes de 20 l'instruction à lire et pouvant également comprendre, quand le nombre de codes de l'instruction lue est inférieur à  $I$ , des codes appartenant à une instruction suivante.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend 30 une étape consistant à appliquer aux bancs mémoire des adresses individuelles générées à partir d'une valeur collective de compteur ordinal, qui est incrémentée, avant le commencement d'un cycle de lecture d'une instruction, d'une valeur égale au nombre de codes que 35 comprend l'instruction précédente.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend une étape consistant à appliquer à chacun des bancs

mémoire une adresse de lecture individuelle égale à P0 ou P0+1, P0 étant le quotient de la division par I de la valeur du compteur ordinal, un banc mémoire de rang i recevant une adresse égale à P0 quand i est strictement 5 supérieur à R, ou une adresse égale à P0+1 quand i est inférieur ou égal à R, R étant le reste de la division par I de la valeur du compteur ordinal.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend une étape de réorganisation des codes de la suite de 10 codes lue dans la mémoire programme, conformément à l'algorithme mentionné plus haut.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend une étape de filtrage des codes lus n'appartenant pas à l'instruction à lire, au moyen de bits de parallélisme 15 accompagnant les codes.

Selon un mode de réalisation, des codes filtrés sont remplacés par des codes de non-opération.

Selon un mode de réalisation, les codes sont filtrés conformément à l'algorithme mentionné plus haut.

20 Selon un mode de réalisation, les codes non filtrés sont envoyés à des unités d'exécution de type RISC agencées en parallèle.

Ces objets, caractéristiques et avantages ainsi que d'autres de la présente invention seront exposés plus en 25 détail dans la description suivante d'un exemple de réalisation d'un processeur selon l'invention, faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

- la figure 1 précédemment décrite représente sous forme de blocs l'architecture d'un processeur VLIW classique,
- la figure 2 représente sous forme de blocs l'architecture d'un processeur selon l'invention,
- les figures 3 et 4 représentent des modes de réalisation d'éléments représentés sous forme de blocs en 35 figure 2.

La figure 2 représente schématiquement l'architecture d'un processeur de traitement du signal 20

selon l'invention. Le processeur 20 comprend, comme le processeur classique de la figure 1, une mémoire programme PMEM1, une mémoire de données DMEM, un registre d'instructions IR, un décodeur d'instructions IDEC agencé à la sortie du registre IR, une banque de registres RBANK, des unités d'exécution, ici quatre unités EU0 à EU3, ainsi qu'un circuit BMC ("Built-In Self Test/Mapping/Conflicts") prévu pour lire ou écrire des données dans la mémoire de données DMEM ou dans la banque de registres RBANK et assurant diverses autres fonctions comme l'autotest des mémoires ("Built-In Self Test" ou "BIST") et la gestion des conflits d'adresses. Le registre d'instructions IR comprend quatre registres IR0 à IR3 en parallèle, prévus pour recevoir à chaque cycle de lecture d'une instruction (cycle "fetch") quatre codes instruction c'(0) à c'(3) délivrés par la mémoire programme PMEM1. Le décodeur d'instructions IDEC assure le décodage des codes c'(0)-c'(3) ainsi que la distribution des opérandes en direction des unités d'exécution concernées. Ces éléments sont en soi classiques et constituent le cœur du processeur, représenté schématiquement sous la forme d'un bloc.

Le processeur 20 selon l'invention se distingue d'un processeur classique par le fait que la mémoire programme PMEM1 est constituée par plusieurs bancs mémoire agencés en parallèle, ici quatre bancs M0, M1, M2, M3 adressables individuellement et recevant respectivement des adresses a0, a1, a2, a3. Dans ce qui suit, on désignera par "I" le nombre de bancs mémoire adressables individuellement présents dans un processeur selon l'invention, et par "N" le nombre maximal de codes instruction pouvant être contenus dans une instruction large (paquet), I devant au moins être égal à N. Ici, I est égal à N qui est égal à 4 puisque le processeur comprend quatre unités d'exécution.

Selon l'invention, les codes instruction (syllabes) d'un programme sont enregistrés dans la mémoire PMEM1 de

façon entrelacée, de telle sorte que deux codes se succédant dans le programme soient agencés dans deux bancs mémoire contigus de rangs croissants, avec la même adresse  $a_i$  dans chaque banc. Lorsqu'un code est enregistré dans le dernier banc mémoire M3, à une adresse  $a_3 = "x"$ , le code suivant est enregistré dans le banc mémoire M0 à l'adresse  $a_0 = "x+1"$ , et les codes suivants sont enregistrés dans les bancs M1, M2, M3 aux adresses  $a_1 = a_2 = a_3 = "x+1"$ , etc..

Pour fixer les idées, considérons que la séquence de programme suivante, déjà décrite au préambule, est stockée dans la mémoire virtuelle PMEM1 :

```

INST1 = c0
15 INST2 = c1 c2
INST3 = c3 c4 c5 c6
INST4 = c7 c8 c9

```

A la différence d'un processeur classique, les codes constituant les instructions larges INST1 à INST4 sont enregistrés dans les bancs mémoire les uns après les autres sans injection de codes de non-opération NOP, comme cela apparaît dans le tableau 2 ci-après, la séparation des instructions étant assurée exclusivement par les bits de parallélisme.

Tableau 2

Adresses	Banc M0	Banc M1	Banc M2	Banc M3
x	/p c0	/p c1	p c2	/p c3
x+1	p c4	p c5	p c6	/p c7
x+2	p c8	p c9	/p...	...

Notons ici que les bits de parallélisme sont représentés ici comme des éléments extérieurs aux codes c0 à c9 pour faciliter la compréhension de l'invention. En pratique, les bits de parallélisme font partie intégrante des codes stockés en mémoire et sont éliminés

au moment de l'exécution des codes. Par exemple, les codes c0-c9 comprennent 16 bits parmi lesquels un bit est utilisé en tant que bit de parallélisme.

Ainsi, avantageusement, le processeur selon 5 l'invention reçoit des programmes compactés ne comportant pas de codes NOP. Il en résulte une diminution substantielle de l'encombrement de l'espace mémoire entraînant une baisse de la surface nécessaire au stockage du programme et une diminution de la 10 consommation.

On va maintenant décrire des moyens de lecture de la mémoire PMEM1, prévus pour "désentrelacer" les codes instruction afin d'en extraire des instructions larges, ou "paquets", comprenant plusieurs codes ou "syllabes" 15 destinés à être exécutés simultanément.

Selon l'invention, ces moyens de lecture comprennent essentiellement un circuit de gestion d'adresses IAC, un circuit de permutation de codes PCC et un circuit de sélection de codes CSC, et consistent 20 également dans une gestion particulière du compteur ordinal PC ("program counter") du processeur 20, qui sera tout d'abord décrite.

Le compteur ordinal PC est incrémenté de façon classique à chaque cycle d'horloge, par exemple au moyen 25 d'un additionneur ADD1 recevant sur une entrée la valeur courante du compteur ordinal et sur une autre entrée un incrément  $n$ , la sortie de l'additionneur étant appliquée à un tampon LT1 piloté par le signal d'horloge H. Selon l'invention, le compteur ordinal PC est incrémenté d'une 30 valeur  $n$  qui n'est pas constante comme dans l'art antérieur. L'incrément  $n$  est égal au nombre de codes instruction exécutables que comprend l'instruction précédente et est ici délivré par le circuit CSC décrit plus loin.

Cette règle d'incrémantation du compteur ordinal concerne bien entendu la lecture séquentielle des 35 instructions d'un programme et ne s'applique pas lors de

l'exécution d'instructions spéciales comme des instructions de saut ou de branchement, pour lesquelles l'incrément de saut ou la valeur de branchement est imposé par le programme.

5 Le circuit de gestion d'adresses IAC mentionné plus haut assure le calcul des adresses individuelles a0-a3 appliquées aux bancs mémoire à partir de la valeur courante du compteur ordinal PC, incrémentée de la manière qui vient d'être décrite. Plus particulièrement,  
10 15 le circuit IAC calcule les adresses a0-a3 en appliquant l'algorithme A1 suivant :

A1 : Pour i allant de 0 à I-1,  
15  $a_i = P_0 + 1$  si  $i < R$   
 $a_i = P_0$  si  $i \geq R$

dans lequel :

- 1) "i" est l'indice désignant le rang des bancs mémoire M0-M3 et le rang des adresses correspondantes a0-a3,
- 2)  $P_0$  est le quotient de la division par I du compteur ordinal PC, soit :

25  $P_0 = \text{Quotient } (PC/I)$

soit ici, I étant égal à 4 :

30  $P_0 = \text{Quotient } (PC/4)$

- 3) R est le reste de la division par I du compteur ordinal PC, soit :

35  $R = PC - P_0 = PC \text{ modulo } I,$

soit ici, I étant égal à 4 :

$$R \equiv PC \pmod{4}$$

Des exemples de mise en œuvre de cet algorithme, ainsi qu'un exemple de réalisation du circuit IAC seront décrits plus loin.

Le circuit de permutation de codes PCC mentionné plus haut est relié à la sortie de la mémoire programme PMEM1 et comprend des entrées e0 à e3 connectées respectivement aux sorties des bancs mémoire M0 à M3 et recevant respectivement des codes  $c(0)$ ,  $c(1)$ ,  $c(2)$ ,  $c(3)$  lus dans la mémoire programme. Le circuit PCC comprend également quatre sorties s0, s1, s2, s3 délivrant respectivement des codes  $c'(0)$ ,  $c'(1)$ ,  $c'(2)$ ,  $c'(3)$ . Les codes délivrés sont égaux aux codes reçus en entrée mais sont réorganisés par le circuit PCC selon l'algorithme A2 suivant :

A2 : Pour i allant de 0 à N-1  
 et j allant de 0 à N-1  
 $c'(j) = c(i)$ , avec  $i = (j + R') \text{ modulo } I$

dans lequel :

25 1) "i" est l'indice mentionné plus haut, désignant ici le rang des codes d'entrée c(0)-c(3) délivrés par les bancs mémoire M0-M3;

2) "j" est un indice désignant le rang des codes de sortie  $c'(0)-c'(3)$ ,

3) R' est le reste de la division par I du compteur cardinal PC calculé au cycle d'horloge précédent.

35 Comme représenté en figure 2, le circuit PCC peut être réalisé simplement au moyen d'un barillet à décalage ("Barrel Shifter") d'un type connu en soi. L'algorithme A2 est mis en œuvre en appliquant sur l'entrée de

commande du barillet, par l'intermédiaire d'un tampon LT2, le paramètre R calculé et délivré par le circuit IAC. Le tampon LT2 étant piloté par le signal d'horloge, le paramètre R qui est appliqué au barillet après chaque 5 front du signal d'horloge est décalé d'un cycle d'horloge relativement au paramètre R du cycle en cours et est donc égal au paramètre R' mentionné plus haut. Le barillet PCC est agencé pour décaler ses sorties relativement à ses 10 entrées par permutation circulaire à gauche (sens des poids forts vers les poids faibles), en effectuant un nombre de décalages à gauche égal à R'. Dans une variante de réalisation, le barillet reçoit sur son entrée de commande le complément de R' à I, soit la valeur [I-R'], et est agencé pour décaler ses sorties relativement à ses 15 entrées par permutation circulaire à droite (sens des poids faibles vers les poids forts) en effectuant un nombre de décalages à droite égal à [I-R'].

Le circuit de sélection de codes CSC mentionné plus haut est connecté en entrée à la sortie du circuit PCC et 20 comprend des entrées e0 à e3 recevant respectivement les codes c'(0) à c'(3). Le circuit CSC comprend également quatre sorties s0 à s3 qui recopient le code reçu sur l'entrée de même rang dans des conditions prévues par l'algorithme A3 suivant :

25

```

A3 :           Pour j = 0
               val(j=0) = "v"
               s(j=0) = c'(j=0)
               Pour j allant de 1 à I
30             val(j) = "v"
               si val(j-1) = "v"
               et si bit de parallélisme de c'(j)="p"
               sinon val(j-1) = "/v"
               s(j) = c'(j) si val(j) = "v",
               s(j) = NOP si val(j) = "/v"

```

35

dans lequel  $\text{val}(j)$  est un terme de validation récursif de type "daisy chain", associé à chaque sortie  $s(j)$  de rang  $j$ , pouvant présenter deux valeurs " $v$ " et " $/v$ ", par exemple "1" et "0". Pour les sorties de rang " $j$ " allant de 1 à  $I$ , ce terme permet de déterminer si une sortie  $s(j)$  doit recopier le code  $c'(j)$  reçu sur l'entrée de rang correspondant ou doit au contraire délivrer un code NOP. Ce choix est fonction de la valeur du terme de validation  $\text{val}(j)$ , qui est elle-même fonction de la valeur du terme de validation précédent  $\text{val}(j-1)$  et de la valeur " $p$ " ou " $/p$ ", par exemple "1" ou "0", du bit de parallélisme présent dans le code  $c'(j)$ .

En d'autres termes, en attribuant par convention la valeur 1 à " $p$ " et " $v$ " et la valeur "0" à " $/p$ " et " $/v$ ", la sortie  $s_0$  recopie le code  $c'(0)$  reçu sur l'entrée  $e_0$  et chacune des autres sorties  $s(j)$  recopie le code  $c'(j)$  reçu sur l'entrée correspondante  $e(j)$  si le code  $c'(j)$  comprend un bit de parallélisme égal à "1" et si le bit de validation  $\text{val}(j-1)$  de la sortie de rang précédent est aussi égal à "1". Quand le bit de parallélisme d'un code  $c'(j)$  est égal à "0", la sortie correspondante  $s(j)$  et toutes les sorties suivantes délivrent un code NOP.

Le système de lecture de la mémoire programme PMEM1 fonctionne ainsi comme suit :

**Etape E1 :** au cours d'un premier cycle d'horloge, le circuit IAC applique aux bancs mémoire M0-M3 des adresses a0-a3 assurant la lecture de quatre codes instruction a(0)-a(3), qui se suivent dans la mémoire PMEM1 selon l'entrelacement décrit plus haut ;

**Etape E2-1 :** au cours du cycle d'horloge suivant, un signal de lecture READ est appliqué aux bancs mémoire et les codes sont lus dans un ordre qui peut ne pas correspondre, en raison de leur entrelacement, à leur rang effectif prévu dans le programme. Ils sont remis dans l'ordre par le circuit PCC en application de l'algorithme A2, au moyen du paramètre  $R'$  calculé au

cycle d'horloge précédent (c'est-à-dire au moment de l'élaboration des adresses a0-a3) ;

5      **Etape E2-2 :** au cours du même cycle d'horloge, le circuit de sélection CSC identifie les codes qui ne correspondent pas à l'instruction à exécuter, grâce à leur bit de parallélisme "/p" et les remplace par des codes de non-opération NOP ;

10     **Etape E2-3 :** au cours du même cycle d'horloge le registre d'instructions IRO reçoit le code c'(0) et les registres IR1-IR3 reçoivent les codes filtrés (NOP) ou non filtrés selon la sélection faite par le circuit CSC ;

15     **Etape E3 et suivantes :** les codes non filtrés sont décodés par le décodeur IDEC et exécutés par les unités EU0-EU4.

20     Ainsi, la lecture d'une instruction large est faite en deux cycles d'horloge comme dans l'art antérieur, et comprend un cycle pour l'élaboration des adresses a0-a3 et un cycle pour la lecture des codes. Les codes lus sont réorganisés et filtrés au cours du cycle de lecture, l'opération étant "transparente" pour le fonctionnement de l'ensemble. Ces étapes sont effectuées avec chevauchement, selon les règles classiques de fonctionnement pipeline, les registres pipeline n'ayant pas été décrits et représentés dans un souci de simplicité.

25     Le tableau 3 figurant en Annexe fait partie intégrante de la description et illustre le fonctionnement du processeur pour la lecture des instructions INST1 à INST4 décrites plus haut. Les paramètres PC, R, R' et P0 intervenant dans l'exécution des algorithmes sont mentionnés dans les premières colonnes. On considère dans cet exemple que les codes des instructions INST1 à INST3 sont stockés dans la mémoire programme PMEM1 à partir de l'adresse 0 et que le compteur ordinal est égal à 0 au commencement du processus de lecture. Les colonnes a0-a3 donnent les valeurs des adresses calculées à partir de la valeur

courante du compteur ordinal PC. Les colonnes  $c(0)$ - $c(3)$  donnent les valeurs des codes lus dans la mémoire dans l'ordre dans lequel ils se trouvent. Les colonnes  $c'(0)$ - $c'(3)$  donnent les valeurs des codes après réorganisation par le circuit PCC. Les quatre dernières colonnes  $c'(0)$ - $c'(3)$  donnent les valeurs des codes après filtrage dans le circuit CSC.

En observant les quatre dernières colonnes du tableau 3, il apparaît que les codes qui y figurent sont équivalents, en agencement et en valeur, aux codes qui se trouvaient dans la mémoire du processeur classique décrit au préambule (voir le tableau 1 au préambule). Ainsi, le système de lecture selon l'invention reconstitue les codes NOP qui étaient, dans l'art antérieur, enregistrés dans la mémoire programme.

De façon générale, la réalisation des circuits IAC et CSC est à la portée de l'homme de l'art, notamment grâce aux techniques de conception automatique de circuits logiques à partir du langage VHDL. Les algorithmes A1 et A3 mentionnés plus haut sont exprimés en langage VHDL et les circuits IAC et CSC sont générés automatiquement par un compilateur de langage VHDL, sous forme de circuits à logique câblée. On décrira toutefois à titre non limitatif, en relation avec les figures 3 et 4, des exemples de réalisation des circuits IAC et CSC dans le cas où les paramètres I et N sont égaux à 4.

Sur la figure 3, le circuit IAC reçoit en entrée un compteur ordinal PC codé sur 32 bits. Le résultat R est obtenu de façon simple en séparant les deux fils de poids faible de la ligne physique véhiculant le compteur ordinal PC, R étant ainsi égal aux deux bits de poids faible du compteur ordinal. De même, P0 est égal aux 30 bits de poids fort du compteur ordinal et est obtenu en séparant les 30 fils de poids fort. Le paramètre P0 +1 est calculé par un additionneur recevant les valeurs P0 et "1" en entrée. Les adresses a0-a3 sont délivrées par des multiplexeurs MXA1-MXA3 recevant en entrée les

paramètres P0 et P0+1. Ces multiplexeurs sont pilotés par des comparateurs CMP0-CMP3 recevant sur une première entrée l'indice "i" et sur une seconde entrée le paramètre R.

Sur la figure 4, le circuit CSC est réalisé au moyen de quatre multiplexeurs MXB0-MXB3 recevant chacun un code  $c'(j)$  sur une première entrée et un code NOP sur une deuxième entrée. Chaque multiplexeur est piloté par un signal de validation val0, val1, val2, val3 dont la valeur détermine la sélection du code  $c'(j)$  ou du code NOP en sortie du multiplexeur. Les codes de validation sont générés par une cascade de portes ET formant une chaîne de type "Daisy Chain", chaque porte ET recevant en entrée le signal de validation du code précédent et le bit de parallélisme du code reçu par le multiplexeur auquel elle est rattachée. Ainsi, la présence d'un bit de parallélisme à 0 dans un code  $c'(j)$  entraîne le basculement de tous les signaux de validation suivants, de sorte que le code concerné et tous les codes suivants sont remplacés par des codes NOP. Le signal de validation val0 du premier code  $c'(0)$  est généré par une porte inverseuse car le bit de parallélisme du premier code est en principe toujours égal à 0 ("p"). Le multiplexeur MXB0 et le signal de sélection val0 du premier code  $c'(0)$  sont en principe inutiles puisque le premier code  $c'(0)$  n'est, en principe, jamais filtré, une instruction large comprenant au moins un code instruction. Toutefois, la prévision de ce multiplexeur permet de détecter un éventuel défaut de lecture de la mémoire programme ou un défaut de fonctionnement du circuit à décalage PCC, qui apparaît quand le bit de parallélisme du premier code  $c'(0)$  est différent de 0. Dans ce cas, le signal de validation val0 peut être utilisé en tant que signal d'erreur ERR.

Le circuit CSC comprend également un additionneur ADD2 recevant en entrée les quatre signaux de validation val0 à val3, dont la sortie délivre la valeur  $n$  qui est

appliquée à l'additionneur ADD1 pour l'incrémentation du compteur ordinal (fig. 2). L'incrément  $n$  est ainsi égal au nombre de signaux de validation égaux à 1, et représente par conséquent le nombre de codes instruction qui n'ont pas été filtrés, c'est-à-dire le nombre effectif de codes que comprend l'instruction large qui vient d'être lue.

La présente invention est bien entendu susceptible de diverses variantes et modes de réalisation. Notamment, il est envisageable en pratique d'incorporer le circuit de filtrage CSC dans le décodeur d'instructions IDEC. En effet, la fonction de ce circuit est de garantir que des codes n'appartenant pas à une instruction à exécuter ne seront pas envoyés aux unités d'exécution EU0-EU3. Le filtrage des codes indésirables peut ainsi être fait en aval du registre d'instructions IDEC, par le décodeur IDEC lui-même. De façon générale, l'agencement du circuit CSC dans les étages pipeline est dicté par les contraintes temporelles ("timing") concernant l'accès à la mémoire PMEM1 et par le temps de décodage dans de décodeur IDEC, et relève des compétences de l'homme de l'art.

Il apparaîtra clairement à l'homme de l'art que la présente invention offre un large degré de liberté dans la conception d'un processeur de type VLIW. Il est notamment possible, comme on l'a indiqué plus haut, de prévoir un processeur ayant un nombre  $I$  de bancs mémoire et un nombre  $N$  d'unités d'exécution qui sont différents. Il est également possible de choisir de façon dynamique le nombre  $N$  d'unités d'exécution actives, selon l'application visée, en inhibant certaines unités d'exécution pour limiter la consommation de courant. Cette inhibition de certaines unités d'exécution peut être prévue programmable. L'architecture d'un processeur selon l'invention n'étant pas "figée" comme celle d'un processeur VLIW classique, grâce à la suppression de l'obligation de lire en bloc  $N$  codes instruction et de

l'obligation qui en résulte d'injecter des codes NOP dans un programme quand une instruction contient moins de N codes, la présente invention ouvre un large domaine de conception d'un nouveau type de processeurs conciliant des exigences de faible consommation, de faible encombrement en termes de surface de silicium, et offrant de hautes performances grâce à un parallélisme élevé.

## ANNEXE

Rappels :

$$I = 4 ; N = 4$$

$$P0 = \text{Quotient } PC/I$$

$$R = PC[\text{modulo } I]$$

R' = "R" du cycle d'horloge précédent

$$a_i = P0+1 \text{ si } i < R, \text{ sinon } a_i = P0$$

$$c'(j) = c(i), \text{ avec } i = (j+R') [\text{modulo } I]$$

10

Tableau 3 : lecture instructions INST1 à INST3 dans bancs mémoire M0 à M3

	(Adressage bancs M1-M3)				(Sorties bancs M1-M3)				(Sorties circuit PCC)				(Sorties circuit CSC)				
Cycle	PC	R	R'	P0	a0	a1	a2	a3	c(0)	c(1)	c(2)	c(3)	c'(0)	c'(1)	c'(2)	c'(3)	
1	0	0	-	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1	1	0	0	1	0	0	0	c0	c1	c2	c3	c0	c1	c2	c3	c0
3	3	3	1	0	1	1	0	0	c4	c1	c2	c3	c1	c2	c3	c4	c1
4	7	3	3	1	2	2	2	1	c4	c5	c6	c3	c3	c4	c5	c6	c3
5	8	0	3	2					c8	c9	...	c7	c8	c9	...	c7	c8

Cycle	PC	R	R'	P0	a0	a1	a2	a3	c(0)	c(1)	c(2)	c(3)	c'(0)	c'(1)	c'(2)	c'(3)
1	0	0	-	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1	1	0	0	1	0	0	0	c0	c1	c2	c3	c0	c1	c2	c3
3	3	3	1	0	1	1	0	0	c4	c1	c2	c3	c1	c2	c3	c4
4	7	3	3	1	2	2	2	1	c4	c5	c6	c3	c3	c4	c5	c6
5	8	0	3	2					c8	c9	...	c7	c8	c9	...	c7

## REVENDICATIONS

1. Processeur (20) de traitement du signal prévu pour exécuter des instructions (I1-I4) de taille variable pouvant comprendre jusqu'à N codes instruction élémentaires (c(0)-c(3)), caractérisé en ce qu'il comprend :

- une mémoire programme (PMEM1) comprenant I bancs mémoire (M0-M3) en parallèle adressables individuellement, I étant au moins égal à N, dans lesquels les codes (c0-c9) d'un programme sont enregistrés de façon entrelacée à raison d'un code par banc et par adresse appliquée au banc,
- des moyens de lecture (IAC, PCC, CSC) de la mémoire programme agencés pour lire un code dans chacun des I bancs mémoire au cours d'un cycle de lecture d'une instruction,

un cycle de lecture d'une instruction (I1) dans la mémoire programme comprenant la lecture d'une suite de codes (c0-c3) comprenant le ou les codes (c0) de l'instruction à lire (I1) et pouvant également comprendre, quand le nombre de codes de l'instruction lue est inférieur à I, des codes (c1-c3) appartenant à une instruction suivante.

2. Processeur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de lecture comprennent des moyens (IAC) pour appliquer aux bancs mémoire des adresses individuelles (a0-a3) générées à partir d'une valeur collective (PC) de compteur ordinal, qui est incrémentée, avant le commencement d'un cycle de lecture d'une instruction, d'une valeur (n) égale au nombre de codes que comprend l'instruction précédente.

3. Processeur selon la revendication 2, caractérisé en ce que les moyens pour appliquer des adresses (IAC) sont agencés pour appliquer à chacun des bancs mémoire

une adresse de lecture individuelle égale à P0 ou P0+1, P0 étant le quotient de la division par I de la valeur du compteur ordinal.

5 4. Processeur selon la revendication 3, caractérisé en ce que les moyens pour appliquer des adresses (IAC) sont agencés pour :

- appliquer à un banc mémoire de rang i une adresse égale à P0 quand i est strictement supérieur à R, ou
  - 10 - appliquer à un banc mémoire de rang i une adresse égale à P0+1 quand i est inférieur ou égal à R,
- R étant le reste de la division par I de la valeur du compteur ordinal.

15 5. Processeur selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les moyens de lecture comprennent des moyens (PCC) pour réorganiser les codes de la suite de codes lue dans la mémoire programme, conformément à l'algorithme suivant :

20

$$[c'(j) = c(i) \\ \text{avec } i = (j+R') \text{ modulo } I]$$

dans lequel "i" et "j" désignent les rangs des codes  
25 avant et après réorganisation,  $c(i)$  désigne des codes de rang i dans leur agencement après lecture dans la mémoire,  $c'(j)$  désigne des codes de rang j après réorganisation,  $R'$  étant le reste de la division par I de la valeur que présentait le compteur ordinal au cours du  
30 cycle d'horloge précédent.

6. Processeur selon la revendication 5, caractérisé en ce que les moyens pour réorganiser (PCC) sont agencés pour appliquer aux codes de la suite de codes lue dans la  
35 mémoire programme une permutation circulaire comprenant un nombre de permutations circulaires élémentaires égal à

R' ou à [I-R'] selon le sens dans lequel est réalisée la permutation circulaire.

7. Processeur selon la revendication 6, caractérisé en ce que les permutations circulaires sont effectuées par un bâillet à décalage recevant sur une entrée de commande le paramètre R'.

8. Processeur selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que les moyens de lecture comprennent des moyens (CSC) pour filtrer les codes (c1-c3) n'appartenant pas à l'instruction à lire (I1), au moyen de bits de parallélisme ("p", "/p") accompagnant les codes.

15

9. Processeur selon la revendication 8, caractérisé en ce que les codes filtrés sont remplacés par des codes de non-opération (NOP).

20

10. Processeur selon la revendication 9, dans lequel les moyens de filtrage de codes (CSC) sont agencés pour exécuter l'algorithme suivant :

```
[Pour j = 0,
25      val(j=0) = "v"
      s(j=0) = c'(j=0) ;
      Pour j allant de 1 à I
            val(j) = "v" si :
            val(j-1) = "v" et si bit de parallélisme de c'(j)="p",
30            sinon val(j-1) = "/v" ;
            s(j) = c'(j) si val(j) = "v" ;
            s(j) = NOP si val(j) = "/v" ]
```

35 dans lequel val(j) est un terme de validation associé à chaque code c'(j) de rang j, pouvant présenter deux valeurs "v" et "/v", s(j) désigne des sorties de rang j des moyens de filtrage, correspondant à des entrées de

même rang recevant un code c'(j), "NOP" est un code de non-opération.

11. Processeur selon l'une des revendications 8 à 5 10, caractérisé en ce que les codes non filtrés sont envoyés à des unités d'exécution de type RISC (EU0-EU3) agencées en parallèle.

12. Procédé de lecture d'instructions (I1-I4) de 10 taille variable pouvant comprendre jusqu'à N codes instruction élémentaires (c(0)-c(3)), applicable à un processeur de traitement du signal (20), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

- prévoir une mémoire programme (PMEM1) comprenant I 15 bancs mémoire (M0-M3) en parallèle adressables individuellement, I étant au moins égal à N,
- enregistrer les codes (c0-c9) d'un programme dans la mémoire programme (PMEM1) de façon entrelacée, à raison d'un code par banc et par adresse appliquée au banc, et 20
- au cours d'un cycle de lecture d'une instruction, lire dans les I bancs mémoire (M0-M3) une suite de codes (c0-c3) comprenant le ou les codes (c0) de l'instruction à lire (I1) et pouvant également comprendre, quand le nombre de codes de l'instruction lue est inférieur à I, 25 des codes (c1-c3) appartenant à une instruction suivante.

13. Procédé selon la revendication 12, comprenant une étape consistant à appliquer aux bancs mémoire des 30 adresses individuelles (a0-a3) générées à partir d'une valeur collective (PC) de compteur ordinal, qui est incrémentée, avant le commencement d'un cycle de lecture d'une instruction, d'une valeur (n) égale au nombre de codes que comprend l'instruction précédente.

35 14. Procédé selon la revendication 13, comprenant une étape consistant à appliquer à chacun des bancs mémoire une adresse de lecture individuelle égale à P0 ou

$P_0+1$ ,  $P_0$  étant le quotient de la division par  $I$  de la valeur du compteur ordinal, un banc mémoire de rang  $i$  recevant une adresse égale à  $P_0$  quand  $i$  est strictement supérieur à  $R$ , ou une adresse égale à  $P_0+1$  quand  $i$  est inférieur ou égal à  $R$ ;  $R$  étant le reste de la division par  $I$  de la valeur du compteur ordinal.

15. Procédé selon l'une des revendications 12 à 14, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de réorganisation des codes de la suite de codes lue dans la mémoire programme, conformément à l'algorithme suivant :

$$[c'(j) = c(i) \\ \text{avec } i = (j+R') \text{ modulo } I]$$

15 dans lequel "i" et "j" désignent les rangs des codes avant et après réorganisation,  $c(i)$  désigne des codes de rang  $i$  dans leur agencement après lecture dans la mémoire,  $c'(j)$  désigne des codes de rang  $j$  après réorganisation,  $R'$  étant le reste de la division par  $I$  de la valeur que présentait le compteur ordinal au cours du cycle d'horloge précédent.

25 16. Procédé selon l'une des revendications 12 à 15, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de filtrage des codes lus ( $c_1-c_3$ ) n'appartenant pas à l'instruction à lire ( $I_1$ ), au moyen de bits de parallélisme ("p", "/p") accompagnant les codes.

30 17. Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce que des codes filtrés sont remplacés par des codes de non-opération (NOP).

35 18. Procédé selon la revendication 17, dans lequel les codes sont filtrés conformément à l'algorithme suivant :

```

[Pour j = 0,
val(j=0) = "v"
s(j=0) = c'(j=0) ;
Pour j allant de 1 à I
5      val(j) = "v" si :
        val(j-1) = "v" et si bit de parallélisme de c'(j)="p",
        sinon val(j-1) = "/v" ;
        s(j) = c'(j) si val(j) = "v" ;
        s(j) = NOP si val(j) = "/v" ]
10

```

dans lequel val(j) est un terme de validation associé à chaque code c'(j) de rang j, pouvant présenter deux valeurs "v" et "/v", s(j) désigne des sorties de rang j des moyens de filtrage, correspondant à des entrées de 15 même rang recevant un code c'(j), "NOP" est un code de non-opération.

19. Procédé selon l'une des revendications 16 à 18, caractérisé en ce que les codes non filtrés sont envoyés 20 à des unités d'exécution de type RISC (EU0-EU3) agencées en parallèle.

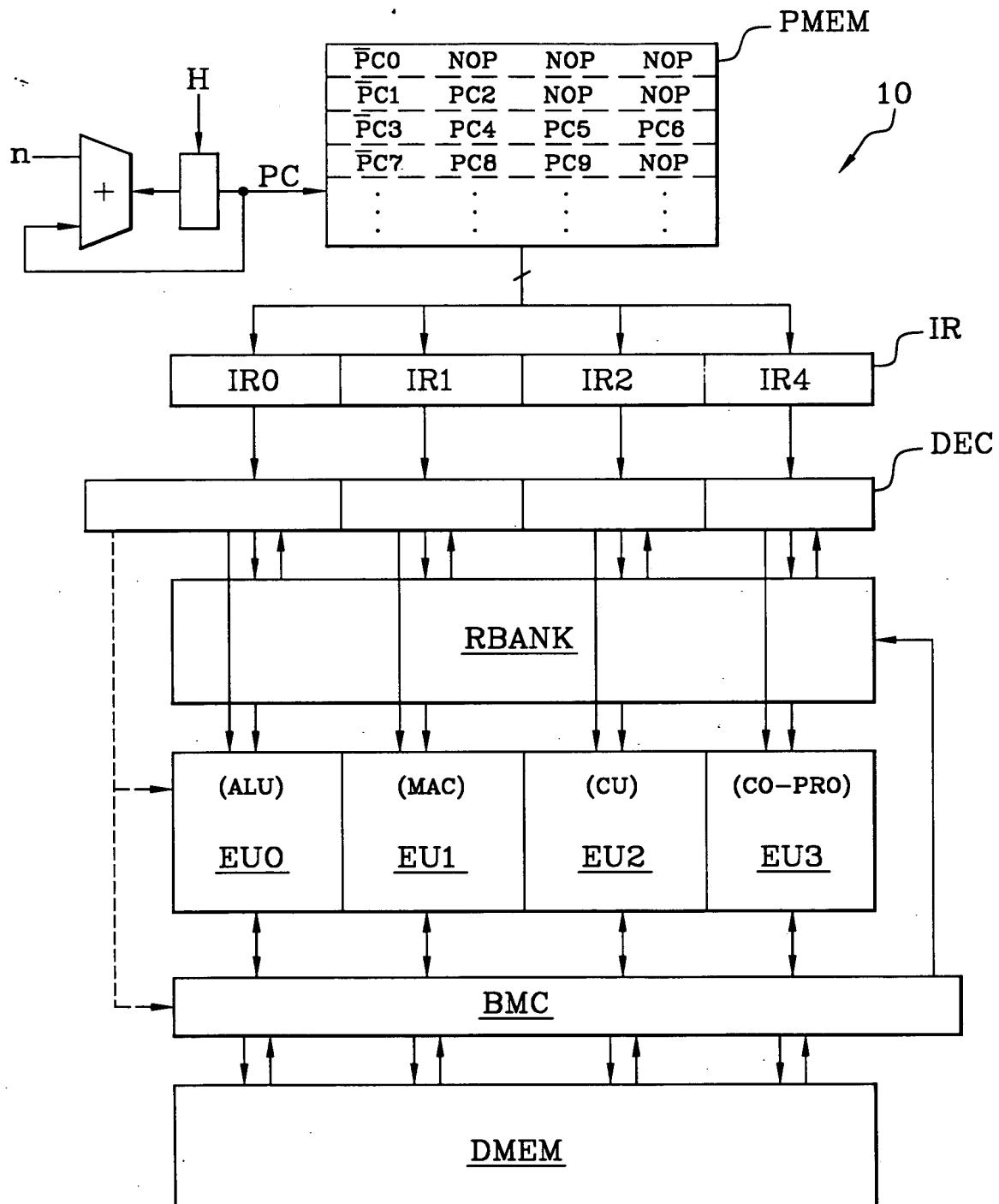
**Fig. 1**

Fig. 2

20

